

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

This Page Blank (uspto)

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06151966 A**

(43) Date of publication of application: **31.05.94**

(51) Int. Cl. **H01L 33/00**

(21) Application number: **04316601**

(22) Date of filing: **29.10.92**

(71) Applicant: **TOYODA GOSEI CO LTD**

(72) Inventor:
MANABE KATSUhide
KOIDE NORIKATSU
UMEZAKI JUNICHI
NOIRI SHIZUYO

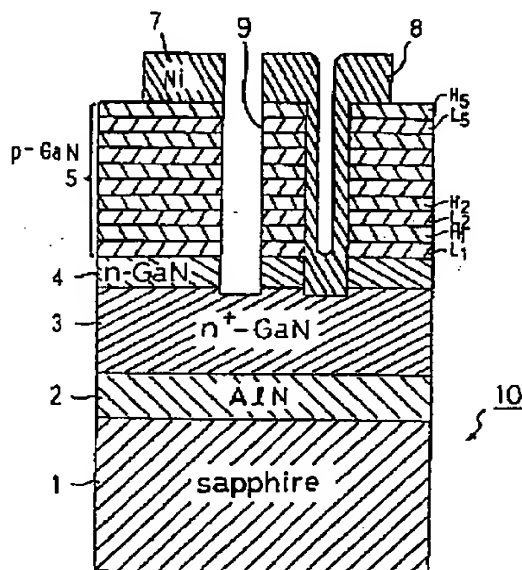
(54) **NITROGEN-III COMPOUND SEMICONDUCTOR
LUMINOUS ELEMENT AND MANUFACTURE
THEREOF**

(57) Abstract:

PURPOSE: To improve the luminance and life of an AlGaInN light emitting diode.

CONSTITUTION: A 500Å AIN buffer layer 2, high carrier concentration n⁺-layer 3, approx. 2.2μm in film thickness and 2×10¹⁸/cm³ in electron density, made of silicon-doped GaN, low carrier concentration n-layer 4, approx. 1.5μm and 1×10¹⁶/cm³, made of non-doped GaN, and p-layer 5, are formed on a sapphire substrate 1 in this order. The p-layer is of multilayer structure and consists of five sets of two layers; each set comprises a low carrier concentration p-layer L₁, approx. 500Å, in film thickness and 1×10¹⁶/cm³ in hole density, made of Mg-doped GaN and a high carrier concentration p⁺-layer H₁, approx. 500Å, and 2×10¹⁷/cm³. As a result, the luminance and life are improved.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio



[Claim(s)]

[Claim 1] n type nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included) from -- n becoming layers p layers which consist of p type nitrogen-3 group element compound semiconductors ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included). High carrier concentration p^+ of comparatively high concentration [concentration / p layers of low carrier concentration and hole concentration / of comparatively low concentration / concentration / hole / the side which is the light emitting device equipped with the above, and joins the p aforementioned layers to the n aforementioned layers to]] It is characterized by forming repeatedly a term two or more rounds by making a layer into one period.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the nitrogen-3 group element compound semiconductor light emitting device of blue luminescence.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, it is GaN as blue light emitting diode. The thing using the compound semiconductor of a system is known. The GaN Since the compound semiconductor of a system is a transited [directly] type, it attracts attention from that luminous efficiency is high, making into the luminescent color blue it is [blue] one in three primary colors of the light, etc.

[0003] Recently and GaN It is p type GaN by also setting, doping Mg and irradiating an electron ray. Being obtained became clear. Consequently, GaN which changes to junction to n conventional layers and a conventional half-insulating layer (i layers), and has pn junction Light emitting diode is proposed.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, even if it is the light emitting diode which has the above-mentioned pn junction, luminescence brightness is not yet enough and sufficient thing is not obtained about the life. Then, the purpose of this invention is a nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included). It is protracting raising the luminescence brightness of the light

emitting diode of light emitting diode, and an element life.

[0005]

[Means for Solving the Problem] this invention -- n type nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included) from -- with n becoming layers p type nitrogen-3 group element compound semiconductor ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$; $x=0$, $y=0$, and $x=y=0$ are included) In the nitrogen-3 group element compound semiconductor light emitting device which has p becoming layers from -- High carrier concentration p^+ of comparatively high concentration [concentration / p layers of low carrier concentration and hole concentration / of comparatively low concentration / concentration / hole / the side which joins p layers to n layers to]] It is characterized by forming repeatedly a term two or more rounds by making a layer into one period.

[0006] Hole concentration of the p layers of the above-mentioned low carrier concentration $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ - $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ are desirable, and it is high carrier concentration p^+ . Hole concentration of a layer $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ - $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ are desirable. Moreover, 100 ** - 1000 Å of thickness is desirable.

[0007]

[Function and Effect of the Invention] For the side which joins p layers to n layers to hole concentration, comparatively low-concentration p layers of low carrier concentration and hole concentration are [this invention] comparatively high-concentration high carrier concentration p^+ . As a result of forming it repeatedly a term two or more rounds, having used the layer as one period, luminescence brightness improved. Luminescence brightness is 10 mcd(s) and this luminescence brightness is the conventional pn junction GaN. It compares with the luminescence brightness of light emitting diode, and is 2. It improved twice. Moreover, a luminescence life is 10⁴. It is time and is the conventional pn junction GaN. 1.5 of the luminescence life of light emitting diode It is twice.

[0008]

[Example]

In 1st example drawing 1, light emitting diode 10 has silicon on sapphire 1, and it is AlN of 500 ** to the silicon on sapphire 1. The buffer layer 2 is formed. the buffer-layer 2 top -- order -- thickness 2.2 [about] μm and silicon dope GaN of $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ of concentration of electrons cm³ from -- high

carrier concentration n^+ which changes A layer 3 and thickness abbreviation 1.5 micrometers and non dope GaN of 1×10^{16} /of concentration of electrons cm^{-3} from -- 4 is formed n layers of low carrier concentration which changes Furthermore, on 4, p layer 5 which consists of the multiplex layer structure of a thin film is formed n layers of low carrier concentration. p layer 5 -- thickness about 500 ** and Mg dope GaN of 1×10^{16} /of hole concentration cm^{-3} from -- it changes -- low -- carrier concentration p layer L1 and thickness about 500 ** and hole concentration Mg dope GaN of 2×10^{17} -/ cm^3 from -- it changes -- high -- carrier concentration p layer H1 It consists of multiplex layer structures by which 5 period repeat formation was carried out by considering as one period. And high carrier concentration p^+ of the best layer Layer H5 The electrode 7 and high carrier concentration n^+ which were formed with the nickel to connect The electrode 8 formed with the nickel linked to a layer 3 is formed. Insulating separation of an electrode 8 and the electrode 7 is electrically carried out by the slot 9.

[0009] Next, the manufacture method of the light emitting diode 10 of this structure is explained. The above-mentioned light emitting diode 10 is an organometallic compound vapor growth (it is described as "MOVPE" below). It was manufactured by the vapor growth to depend. The used gas is NH_3 . Carrier gas H_2 and trimethylgallium ($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (it is described as "TMG" below) Trimethylaluminum (aluminum3 (CH_3)) (it is described as "TMA" below) They are a silane (SiH_4) and bis(cyclopentadienyl) magnesium ($\text{Mg}_2(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (it is described as "CP2Mg" below).

[0010] First, it is MOVPE about the silicon on sapphire 1 of the single crystal which makes a principal plane the Ath page washed with organic washing and heat treatment. The susceptor laid in the reaction chamber of equipment is equipped. Next, gas phase etching of the silicon on sapphire 1 was carried out at the temperature of 1100 degrees C, passing H_2 to a reaction chamber by part for rate-of-flow 2 liter/by the ordinary pressure.

[0011] Next, temperature It is made to fall to 400 degrees C, and they are a part for 20 liter/, and NH_3 about H_2 . A part for 10 liter/, and TMA It supplies by part for 1.8×10^{-5} -mol/, and is AlN. A buffer layer 2 is abbreviation. It was formed in the thickness which is 500A. The temperature of silicon on sapphire 1 is held at 1150 degrees C. H_2 A part for next, 20 liter/, NH_3 A part for 10 liter/, and TMG A part for 1.7×10^{-4} -mol/, H_2 -- 0.86 ppm up to --

diluted silane (SiH_4) a part for 200 ml/-- comparatively -- coming out -- for 30 minutes -- supplying -- thickness abbreviation GaN of 2.2 micrometers and 2×10^{18} /of concentration of electrons cm^{-3} from -- high carrier concentration n^+ which changes The layer 3 was formed.

[0012] then, the temperature of silicon on sapphire 1 -- 1150 degrees C -- holding -- H_2 -- a part for 20 liter/, and NH_3 -- a part for 10 liter/, and TMG a part for 1.7×10^{-4} -mol/-- comparatively -- coming out -- for 20 minutes -- supplying -- about 1.5 micrometers of thickness, and concentration of electrons $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ GaN from -- 4 was formed n layers of low carrier concentration which changes

[0013] Next, silicon on sapphire 1 is made into 1150 degrees C, and it is H_2 . A part for 20 liter/, NH_3 A part for 10 liter/, and TMG 1.7×10^{-4} -mol a part for /and CP_2Mg a part for 8×10^{-8} -mol/-- comparatively -- coming out -- 0.7 a part -- between -- supplying -- GaN of 5×10^{19} /of Mg concentration cm^{-3} , and thickness 500 ** from -- it changes -- low -- carrier concentration p layer L1 It formed. In this state, it is L1 p layers of low carrier concentration. It is still resistivity 108. It is an insulator more than Ωcm .

[0014] Next, silicon on sapphire 1 is made into 1150 degrees C, and it is H_2 . A part for 20 liter/, NH_3 A part for 10 liter/, and TMG 1.7×10^{-4} -mol a part for /and CP_2Mg a part for 3×10^{-7} -mol/-- comparatively -- coming out -- 0.7 a part -- between -- supplying -- Mg concentration GaN of 2×10^{20} -/ cm^3 and thickness 500 ** from -- high carrier concentration p^+ which changes Layer H1 It formed. this state -- high carrier concentration p^+ a layer H1 -- yet -- resistivity 108 It is an insulator more than Ωcm .

[0015] Then, p above-mentioned layers of low carrier concentration and above-mentioned high carrier concentration p^+ As the formation process of a layer was repeated a term 4 rounds and was further shown in drawing 2 , p layer 5 of the multiplex layer structure of five periods was obtained as a whole.

[0016] Next, the electron ray was uniformly irradiated p layer 5 of the above-mentioned multiplex layer structure using reflection-electron line diffraction equipment. The irradiation conditions of an electron ray are 10kV of acceleration voltage, and a specimen current. They are 1microA, traverse-speed 0.2 mm/sec of a beam, beam-diameter 60micrometerphi, and degree of vacuum $2.1 \times 10^{-5}\text{Torr}$. By irradiation of this electron ray, it is low carrier

concentration p layer L1 -L5. It becomes p conduction-type semiconductor with a/[of hole concentration cm^{-3}] of 1×10^{16} , and a resistivity [cm] of 40ohms, and is high carrier concentration p+. Layer H1 -H5 Hole concentration $2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$, resistivity It became p conduction-type semiconductor of 2-ohmcm. Thus, the wafer of multilayer structure as shown in drawing 2 was obtained.

[0017] Drawing 3 described below to drawing 7 is the cross section showing only one element on a wafer, and in practice, about the wafer with which this element was repeated continuously, processing is performed and it is cut for every element after that.

[0018] it is shown in drawing 3 -- as -- high carrier concentration p+ Layer H5 a top -- sputtering -- SiO two-layer -- 11 was formed in the thickness of 2000A Next, the photoresist 12 was applied on the SiO two-layer 11. And it is high carrier concentration p+ by Fort Lee SOGURAFU. Layer H5 It sets upwards and is high carrier concentration n+. They are the electrode formation part A corresponding to the hole 15 formed so that it may result in a layer 3, and its electrode formation section High carrier concentration p+ Layer H5 The photoresist of the part B which forms the slot 9 which carries out insulating separation with an electrode was removed.

[0019] next, the SiO two-layer which is not covered by the photoresist 12 as shown in drawing 4 -- 11 was removed by the hydrofluoric-acid system etching reagent Next, the multiplex layer structure of the part which is not covered by a photoresist 12 and SiO two-layer 11 as shown in drawing 5 is 4 and high carrier concentration n+ p layer 5 and n layers of low carrier concentration under it. After supplying degree of vacuum 0.04Torr, RF power 0.44 W/cm², and BCl₃ gas at 10ml a rate for /and carrying out dry etching of the upper surface of a layer 3 part, dry etching was carried out by Ar. At this process, it is high carrier concentration n+. The hole 15 for electrode drawing to a layer 3 and the slot 9 for insulating separation were formed.

[0020] next, it is shown in drawing 6 -- as -- high carrier concentration p+ Layer H5 the SiO two-layer which remains upwards -- 11 was removed by the hydrofluoric acid Next, as shown in drawing 7 , the nickel layer 13 was formed by vacuum evaporationno all over the upper [of a sample]. Thereby, in a hole 15, it is high carrier concentration n+. The nickel layer 13 electrically connected to the layer 3 is formed. And a photoresist 14 is applied on the

nickel layer 13, and the photoresist 14 is high carrier concentration n+ by Fort Lee SOGURAFU. A layer 3 and high carrier concentration p+ Layer H5 Pattern formation was carried out to the predetermined configuration so that the receiving polar zone might remain.

[0021] Next, as shown in drawing 7, the outcrop of the lower layer nickel layer 13 was *****ed by the nitric-acid system etching reagent by using the photoresist 14 as a mask. At this time, the nickel layer 13 by which vacuum evaporation was carried out to the slot 9 for insulating separation is removed completely. Next, an acetone removes a photoresist 14 and it is high carrier concentration n+. The electrode 8 of a layer 3, and high carrier concentration p+ Layer H5 The electrode 7 was left behind. Then, like the above, the processed wafer was cut for every element and obtained the gallium-nitride system light emitting device of pn structure shown in drawing 1.

[0022] thus, the place which measured the luminescence intensity of the manufactured light emitting diode 10 -- 10mcd it is -- GaN of the pn junction of the former [brightness / luminescence / this] the luminescence brightness of light emitting diode -- comparing -- It was double precision. Moreover, a luminescence life is 104. It is time and is GaN of the conventional pn junction. It compares with the luminescence life of light emitting diode, and is 1.5. It was twice. Since such p layer 5 was made into the multiplex layer structure of a thin film, the injection rate of the hole of 4 was able to be made to increase n layers of low carrier concentration of a hole.

[0023] In addition, it is methyl bis(cyclopentadienyl) magnesium (C_6H_7) Mg 2 besides the gas above-mentioned [the doping gas of the magnesium Mg used in the above-mentioned example]. You may use.

[0024] The concentration of electrons of 4 is 1×10^{14} - 1×10^{16} /cm³ the n layers of the above-mentioned low carrier concentration. Thickness 0.5 to 2 micrometer is desirable. concentration of electrons 1×10^{16} /cm³ since luminescence intensity will fall if it becomes the above, it is not desirable -- 1×10^{14} /cm³ Since the series resistance of a light emitting device will become high too much if it becomes the following, and it will generate heat if current is passed, it is not desirable. Moreover, thickness Since the series resistance of a light emitting device will become high too much if set to 2 micrometers or more, and it will generate heat if current is passed, thickness desirably Since

luminescence intensity will fall if set to 0.5 micrometers or less, it is not desirable.

[0025] Furthermore, high carrier concentration n^+ Concentration of electrons of a layer 3 $1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ Thickness 2-10 micrometers is desirable. concentration of electrons $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ since crystallinity will get worse if it becomes the above, it is not desirable -- $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ Since the series resistance of a light emitting device will become high too much if it becomes the following, and it will generate heat if current is passed, it is not desirable. Moreover, since a substrate will curve if thickness is set to 10 micrometers or more, thickness desirably Since the series resistance of a light emitting device will become high too much if set to 2 micrometers or less, and it will generate heat if current is passed, it is not desirable.

[0026] Moreover, above-mentioned low carrier concentration p layer L1 -L5 Hole concentration is $1 \times 10^{14} - 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$. 100-1000Å of thickness is desirable. Hole concentration $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ If it becomes the above, since matching with 4 will become bad n layers of low carrier concentration and luminous efficiency will fall, hole concentration desirably $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ If it becomes the following, since series resistance will become high too much, it is not desirable.

[0027] Furthermore, high carrier concentration p^+ Layer H1 -H5 Hole concentration $1 \times 10^{16} - 2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 100-1000Å of thickness is desirable. Hole concentration $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ The above p^+ A layer is not made. $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ Since series resistance becomes high when it comes to the following, it is not desirable.

[0028] As shown in 2nd example drawing 8, light emitting diode 10 can also be constituted. namely, a buffer-layer 2 top -- order -- p layer 5 of the multiplex layer structure of a thin film, and thickness abbreviation 1.5 micrometers and non dope GaN of $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ of concentration of electrons cm^3 from -- it changes -- low -- carrier concentration n layer 4 and thickness 2.2 [about] μm and silicon dope GaN of $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ of concentration of electrons cm^3 from -- high carrier concentration n^+ which changes The layer 3 is formed. It is the same as that of the 1st example, and this p layer 5 is p layers of low carrier concentration, and high carrier concentration p^+ . It is repeatedly formed by making a layer into one period the term 5 rounds.

[0029] And high carrier concentration n^+ The electrode 8 and high carrier

concentration p^+ which were formed with the nickel linked to a layer 3 Layer H5 The electrode 7 formed with the nickel to connect is formed. An electrode 8 and an electrode 7 are high carrier concentration n^+ . Insulating separation is electrically carried out by the slot 91 formed in 5 4 or p layers with a layer [3] and a low carrier concentration of n layers.

[0030] Thus, unlike the 1st example, this example makes reverse deposition sequence over the substrate 1 of p layers and n layers. Manufacture can be performed like the 1st example.

[0031] Thus, p layers of a side to low carrier concentration and high carrier concentration p^+ which join p layers to n layers Since it formed in the structure of a multiplex period by making into one period two-layer [which is used as a layer] Highest p^+ of hole concentration n^+ with highest layer and concentration of electrons Between layers, by impressing voltage, it is efficiently accelerated on each class and an electron and a hole are efficiently injected into the layer of an opposite conduction type through a pn junction side. Consequently, luminescence brightness improved.

[0032] In 3rd example drawing 9 , light emitting diode 10 has silicon on sapphire 1, and it is AlN of 500 ** to the silicon on sapphire 1. The buffer layer 2 is formed. the buffer-layer 2 top -- order -- thickness 2.2 [about] μm and silicon dope GaN of 2×10^{18} /of concentration of electrons cm^{-3} from -- high carrier concentration n^+ which changes A layer 3 and thickness abbreviation 1.5 micrometers and concentration of electrons Non dope GaN of 1×10^{16} -/ cm^3 from -- 4 and i layer 6 of a multiplex layer structure are formed n layers of low carrier concentration which changes 6 is iL1, and thickness about 500 ** and Mg concentration i layers thickness about 500 ** and i layers of low high impurity concentration of 5×10^{19} /of Mg concentration cm^{-3} . It consists of multiplex layer structures by which 5 period repeat formation was carried out by making iH1 into one period i layers of high high impurity concentration of 2×10^{20} -/ cm^3 .

[0033] And thickness about 500 ** formed into p conduction type by electron beam irradiation i layers of the low high impurity concentration, respectively in the predetermined field of iL1-iL5, and the high high impurity concentration iH1-iH5 and quantity carrier concentration p layer H1 -H5 of p layer L1 of low carrier concentration - L5, thickness about 500 **, and 2×10^{17} /of hole concentration cm^{-3} of 1×10^{16} /of hole concentration cm^{-3} It is

formed. Thus, p layer 50 of a multiplex layer structure is formed in some [of a multiplex layer structure] positions of i layer 6.

[0034] Moreover, high high-impurity-concentration i^+ From the upper surface of a layer $iH5$, 4 is penetrated i layer 6 and n layers of low carrier concentration, and it is high carrier concentration n^+ . The hole 15 which results in a layer 3 is formed. It passes along the hole 15 and is high carrier concentration n^+ . The electrode 81 formed with the nickel joined to the layer 3 is high high-impurity-concentration i^+ . It is formed on the layer $iH5$. Moreover, high carrier concentration p^+ Layer $H5$ In the upper surface, it is high carrier concentration p^+ . Layer $H5$ The electrode 71 formed with the nickel to receive is formed. High carrier concentration n^+ Insulating separation of the p layers of the i layers of the electrodes 81 to a layer 3 is carried out by 6 to 50.

[0035] Next, the manufacture method of the light emitting diode 10 of this structure is explained. Drawing 10 which shows a manufacturing process to drawing 15 is a cross section only about one in a wafer, and the next manufacture processing is performed about the wafer with which the element shown in drawing in fact was formed repeatedly. And finally, a wafer is cut and each light emitting device is formed.

[0036] The wafer shown in drawing 10 is manufactured like the 1st example. next, it is shown in drawing 11 -- as -- high high-impurity-concentration i^+ a layer $iH5$ top -- sputtering -- SiO_2 two-layer -- 11 was formed in the thickness of 2000Å Next, the photoresist 12 was applied on the SiO_2 two-layer 11. And it is high high-impurity-concentration i^+ by Fort Lee SOGURAFU. It sets in a layer $iH5$ and is high carrier concentration n^+ . The photoresist of the electrode formation part A corresponding to the hole 15 formed so that it may result in a layer 3 was removed.

[0037] next, the SiO_2 two-layer which is not covered by the photoresist 12 as shown in drawing 12 -- 11 was removed by the hydrofluoric-acid system etching reagent Next, the multiplex layer structure of the part which is not covered by a photoresist 12 and SiO_2 two-layer 11 as shown in drawing 13 is 4 and high carrier concentration n^+ i layer 6 and n layers of low carrier concentration under it. After supplying degree of vacuum 0.04Torr, RF power 0.44 W/cm², and BCl_3 gas at 10ml a rate for /and carrying out dry etching of the upper surface of a layer 3 part, dry etching was carried out by Ar. At this

process, it is high carrier concentration n^+ . The hole 15 for electrode drawing to a layer 3 was formed. next, it is shown in drawing 14 -- as -- high high-impurity-concentration i^+ the SiO two-layer which remains on the layer iH5 -- 11 was removed by the hydrofluoric acid

[0038] Next, as shown in drawing 15 , it is high high-impurity-concentration i^+ . Layers iH1-iH5 and i layers of low high impurity concentration, use reflection-electron line diffraction equipment only for the predetermined field of iL1-iL5, and an electron ray is irradiated. Thickness about 500 ** which shows p conduction type, respectively, hole concentration Low carrier concentration p layer L1 -L5 of p layer H1 of high carrier concentration - H5, thickness about 500 **, and 1×10^{16} /of hole concentration cm^{-3} of 2×10^{17} /cm³ It was formed.

[0039] The irradiation conditions of an electron ray are 10kV of acceleration voltage, and a specimen current. They are 1microA, traverse-speed 0.2 mm/sec of a beam, beam-diameter 60micrometerphi, and degree of vacuum 2.1×10^{-5} Torr. At this time, it is high carrier concentration p^+ . Layer H1 -H5 And low carrier concentration p layer L1 -L5 The portion of an except, i.e., the portion by which an electron ray was not irradiated, is high high-impurity-concentration i^+ of an insulator. It is still iL1-iL5 layers iH1-iH5 and i layers of low high impurity concentration. Therefore, high carrier concentration p^+ Layer H1 -H5 And low carrier concentration p layer L1 -L5 Although it flows in 4 n layers of low carrier concentration to lengthwise, it is [as opposed to / the circumference / in a longitudinal direction] high high-impurity-concentration i^+ . Insulating separation is electrically carried out by iL1-iL5 layers iH1-iH5 and i layers of low high impurity concentration.

[0040] Next, as shown in drawing 16 , it is high carrier concentration p^+ . Layer H5 The high high-impurity-concentration i^+ layer iH5 and high high-impurity-concentration i^+ The nickel layer 20 was formed in the high carrier concentration n^+ layer 3 of vacuum evaporation through the upper surface and the hole 15 of a layer iH5. And a photoresist 21 is applied on the nickel layer 20, and the photoresist 21 is high carrier concentration n^+ by Fort Lee SOGURAFU. A layer 3 and high carrier concentration p^+ Layer H5 Pattern formation was carried out to the predetermined configuration so that the receiving polar zone might remain. Next, the outcrop of the lower layer nickel layer 20 was *****ed by the nitric-acid system etching reagent

by having used the photoresist 21 as the mask, and the acetone removed the photoresist 21. Thus, as shown in drawing 9, it is high carrier concentration n^+ . The electrode 81 of a layer 3, and high carrier concentration p^+ Layer H5. The electrode 71 was formed. Then, the wafer formed as mentioned above was cut for every element.

[0041] thus, the place which measured the luminescence intensity of the manufactured light emitting diode 10 -- the 1st example -- the same -- 10mcd it is -- a luminescence life -- 104 It was time.

[0042] In the light emitting diode of the 1st example of the structure shown in 4th example drawing 1, p layer 5 of the high carrier concentration n^+ layer 3 and a multiplex layer structure was set to aluminum $0.2Ga0.5In0.3N$, respectively. High carrier concentration n^+ The layer 3 added silicon, formed it in 2×10^{18} /of concentration of electrons cm^{-3} , and formed 4 in 1×10^{16} /of concentration of electrons cm^{-3} by impurity additive-free n layers of low carrier concentration. It is L1 p layers of low carrier concentration. Magnesium (Mg) is added, an electron ray is irradiated, and it forms in electron hole concentration 1×10^{16} -/ cm^3 , and is H1 p layers of high carrier concentration. Similarly magnesium (Mg) is added, an electron ray is irradiated, and it is electron hole concentration. It formed in 2×10^{17} -/ cm^3 . And high carrier concentration p^+ of the best layer Layer H5. The electrode 7 and high carrier concentration n^+ which were formed with the nickel to connect. The electrode 8 formed with the nickel linked to a layer 3 was formed.

[0043] Next, the light emitting diode 10 of this structure as well as the light emitting diode of the 1st example can be manufactured. Trimethylindium ($In_3(CH_3)_3$) is TMG, TMA, a silane, and CP2Mg. In addition to gas, it was used. Generation temperature and the quantity of gas flow are the same as the 1st example. Trimethylindium Except for supplying by part for 1.7×10^{-4} mol/, the flow rate of other gas is the same as that of the 1st example.

[0044] Next, like the 1st example, using reflection-electron line diffraction equipment, the electron ray was irradiated uniformly p layer 5 of the above-mentioned multiplex layer structure, and p conduction-type semiconductor was able to be obtained.

[0045] Next, it is high carrier concentration p^+ like the 1st example. Layer H5. The electrodes 7 and 8 formed with the nickel linked to the high carrier

concentration n+ layer 3 were formed.

[0046] thus, the place which measured the luminescence intensity of the manufactured light emitting diode 10 -- 10mcd it is -- GaN of the pn junction of the former [brightness / luminescence / this] the luminescence brightness of light emitting diode -- comparing -- It was double precision. Moreover, a luminescence life is 104. It is time and is GaN of the conventional pn junction. It compares with the luminescence life of light emitting diode, and is 1.5. It was twice. Since such p layer 5 was made into the multiplex layer structure of a thin film, the injection rate of the hole of 4 was able to be made to increase n layers of low carrier concentration of a hole.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The block diagram having shown the composition of the light emitting diode concerning the 1st concrete example of this invention.

[Drawing 2] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 3] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 4] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 5] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 6] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 7] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 8] The block diagram having shown the composition of the light emitting diode concerning the 2nd concrete example of this invention.

[Drawing 9] The block diagram having shown the composition of the light emitting diode concerning the 3rd concrete example of this invention.

[Drawing 10] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 11] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 12] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 13] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 14] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 15] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Drawing 16] The cross section having shown the manufacturing process of the light emitting diode of this example.

[Description of Notations]

10 -- Light emitting diode

1 -- Silicon on sapphire

2 -- Buffer layer

3 -- Quantity carrier concentration n^+ Layer

4 -- n layers of low carrier concentration

5 50-- p layers (p layers of a multiplex layer structure)

6-- i layers (i layers of a multiplex layer structure)

$iH1-iH5$ -- i layers of quantity high impurity concentration

$iL1-iL5$ -- i layers of low high impurity concentration

7 8 -- Electrode

9 -- Slot

Fig. 1

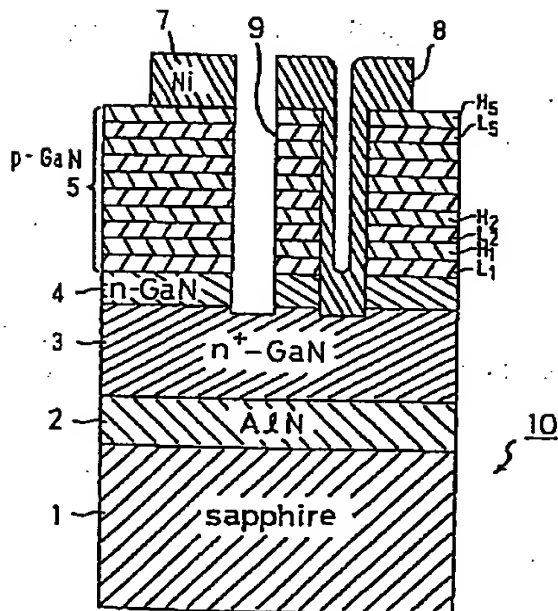


Fig. 2

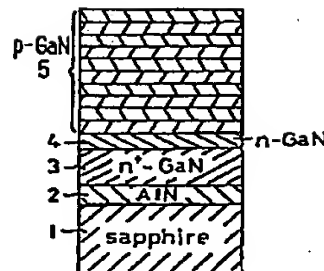


Fig. 3

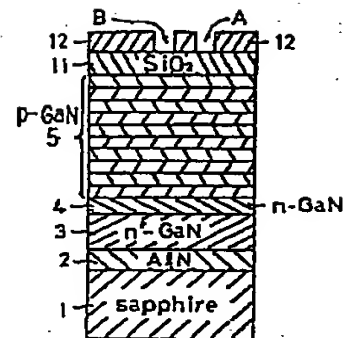


Fig. 6

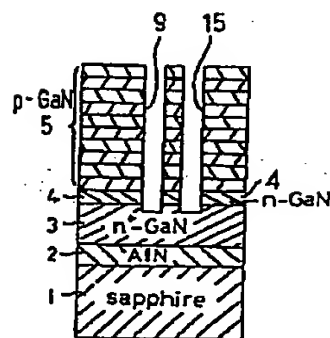


Fig. 7

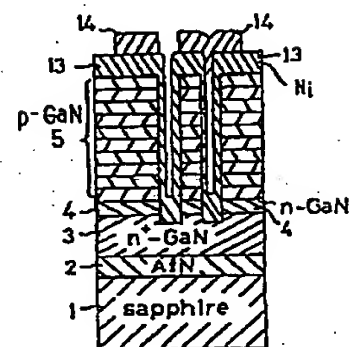


Fig. 4

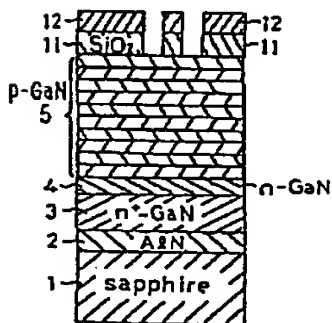


Fig. 5

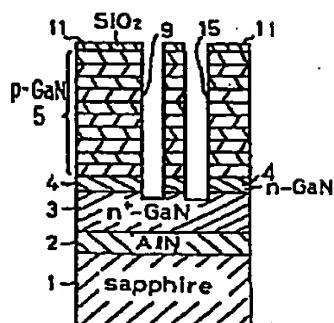


Fig. 10

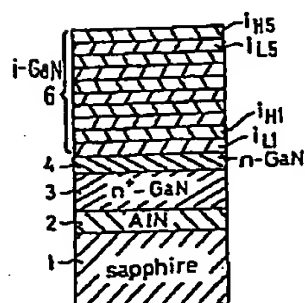


Fig. 11

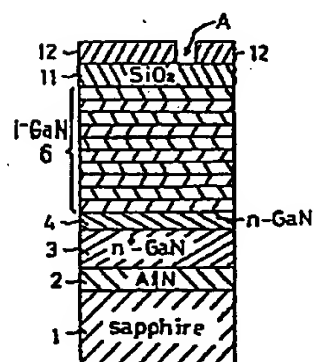


Fig. 8

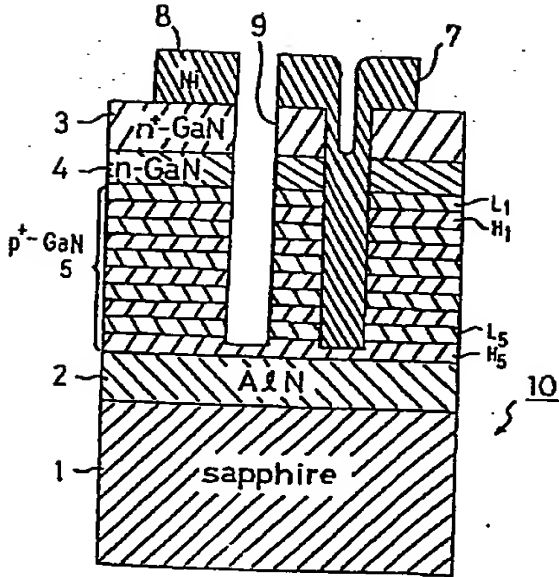


Fig. 9

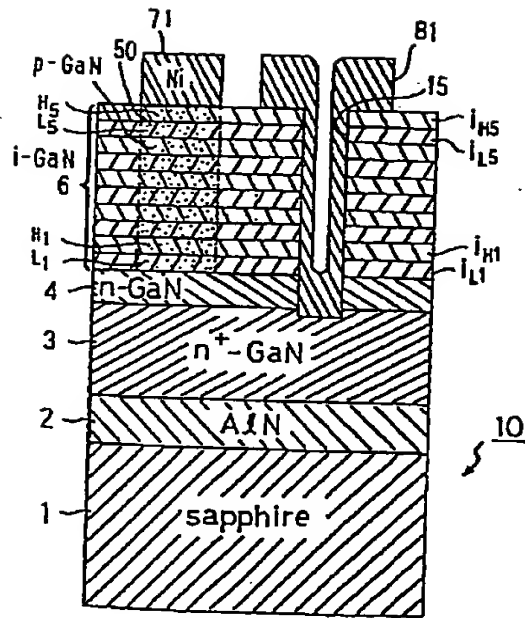


Fig. 12

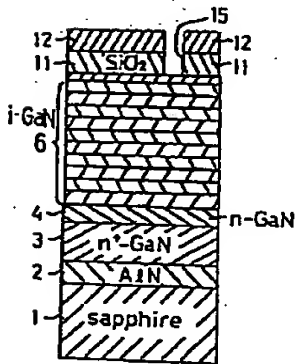


Fig. 13

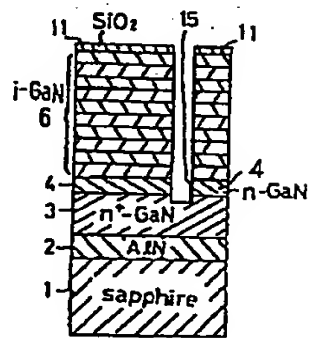


Fig. 14

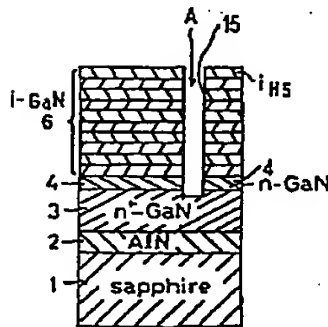


Fig. 15

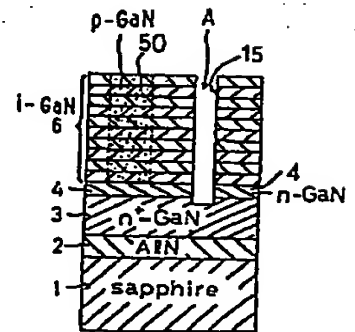
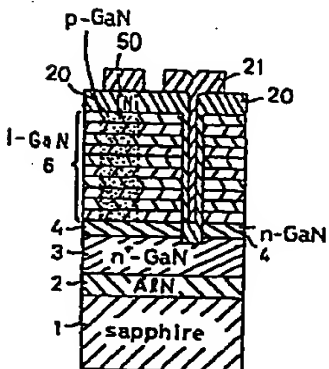


Fig. 16



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 6 - 1 5 1 9 6 6

(43) 公開日 平成6年(1994)5月31日

(51) Int. Cl. ⁵

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

C 7376-4 M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1

(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平4-316601

(22) 出願日 平成4年(1992)10月29日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地

(72) 発明者 真部 勝英

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 小出 典克

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

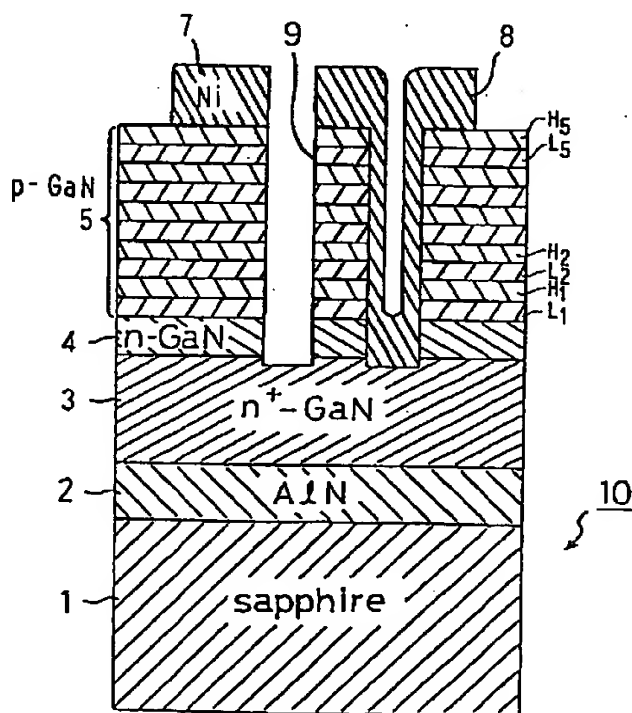
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒素-3 属元素化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 AlGaInN 発光ダイオードにおける発光輝度及び発光寿命の向上

【構成】 サファイア基板 1 に、順に、500 Å の AlN のバッファ層 2、膜厚約 2.2 μm、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープ GaN から成る高キャリア濃度 n⁺ 層 3、膜厚約 1.5 μm、電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のノンドープ GaN から成る低キャリア濃度 n 層 4、p 層 5 が形成。p 層 5 は、膜厚約 500 Å、ホール濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の Mg ドープ GaN から成る低キャリア濃度 p 層 L₁ と膜厚約 500 Å、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度 p⁺ 層 H₁ とを 1 周期とする 5 周期の多重層構造である。この結果、発光輝度及び発光寿命の向上が見られた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 n 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる n 層と、
 p 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる p 層とを有する窒素-3 属元素化合物半導体発光素子において、
 前記 p 層を、前記 n 層と接合する側からホール濃度が比較的低濃度の低キャリア濃度 p 層と、ホール濃度が比較的高濃度の高キャリア濃度 p^+ 層とを1周期として、複数周期繰り返して形成したことを特徴とする発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は青色発光の窒素-3 属元素化合物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来技術】 従来、青色の発光ダイオードとして GaN 系の化合物半導体を用いたものが知られている。その GaN 系の化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高いこと、光の3原色の1つである青色を発光色とすること等から注目されている。

【0003】 最近、GaN においても、Mg をドーピングして電子線を照射することにより p 型の GaN が得られることが明らかとなった。この結果、従来の n 層と半絶縁層 (i 層) との接合に換えて $p-n$ 接合を有する GaN 発光ダイオードが提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記の $p-n$ 接合を有する発光ダイオードであっても、発光輝度は未だ十分ではなく、また、寿命に関しても十分なものが得られていない。そこで、本発明の目的は、窒素-3 属元素化合物半導体 ($Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) 発光ダイオードの発光ダイオードの発光輝度を向上させること及び素子寿命を長期化することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明は、 n 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる n 層と、 p 型の窒素-3 属元素化合物半導体 ($Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$; $X=0, Y=0, X=Y=0$ を含む) からなる p 層とを有する窒素-3 属元素化合物半導体発光素子において、 p 層を、 n 層と接合する側からホール濃度が比較的低濃度の低キャリア濃度 p 層と、ホール濃度が比較的高濃度の高キャリア濃度 p^+ 層とを1周期として、複数周期繰り返して形成したことを特徴とする。

【0006】 上記の低キャリア濃度 p 層のホール濃度は $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ が望ましく、高キャリア濃度 p^+ 層のホール濃度は $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ が望ましい。又、膜厚は $100 \text{ \AA} \sim 1000 \text{ \AA}$ が望ましい。

【0007】

【発明の作用及び効果】 本発明は、 p 層を、 n 層と接合する側からホール濃度が比較的低濃度の低キャリア濃度

p 層と、ホール濃度が比較的高濃度の高キャリア濃度 p^+ 層とを1周期として、複数周期繰り返して形成した結果、発光輝度が向上した。発光輝度は 10 mcd であり、この発光輝度は従来の $p-n$ 接合 GaN 発光ダイオードの発光輝度に比べて、2 倍に向上した。又、発光寿命は 10^4 時間であり、従来の $p-n$ 接合 GaN 発光ダイオードの発光寿命の1.5 倍である。

【0008】

【実施例】

10 第1実施例

図1において、発光ダイオード10は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1に 500 \AA の AlN のバッファ層2が形成されている。そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 2.2 \mu m 、電子濃度 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ のシリコンドーピング GaN から成る高キャリア濃度 n^+ 層3、膜厚約 1.5 \mu m 、電子濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ のノンドーピング GaN から成る低キャリア濃度 n 層4が形成されている。更に、低キャリア濃度 n 層4の上には、薄膜の多重層構造から成る p 層5が形成されている。 p 層5は、膜厚約 500 \AA 、ホール濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の Mg ドーピング GaN から成る低キャリア濃度 p 層 L_1 、膜厚約 500 \AA 、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の Mg ドーピング GaN から成る高キャリア濃度 p 層 H_1 を1周期として5周期繰り返して形成された多重層構造で構成されている。そして、最上層の高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 に接続するニッケルで形成された電極7と高キャリア濃度 n^+ 層3に接続するニッケルで形成された電極8とが形成されている。電極8と電極7とは、溝9により電気的に絶縁分離されている。

【0009】 次に、この構造の発光ダイオード10の製造方法について説明する。上記発光ダイオード10は、有機金属化合物気相成長法(以下「MOVPE」と記す)による気相成長により製造された。用いられたガスは、 NH_3 とキャリアガス H_2 とトリメチルガリウム ($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMG」と記す) とトリメチルアルミニウム ($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMA」と記す) とシラン (SiH_4) とビスシクロペンタジエニルマグネシウム ($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (以下「 CP_2Mg 」と記す) である。

【0010】 まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄した A 面を主面とする単結晶のサファイア基板1を MOVPE 装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧で H_2 を流速 2 liter/分 で反応室に流しながら温度 1100°C でサファイア基板1を気相エッチングした。

【0011】 次に、温度を 400°C まで低下させて、 H_2 を 20 liter/分 、 NH_3 を 10 liter/分 、TMA を 1.8×10^{-5} モル/分で供給して AlN のバッファ層2が約 500 \AA の厚さに形成された。次に、サファイア基板1の温度を 1150°C に保持し、 H_2 を 20 liter/分 、 NH_3 を 10 liter/分 、TMG を 1.7×10^{-4} モル/分、 H_2 で 0.86 ppm まで希釈したシラン (SiH_4) を 200 ml/分 の割合で30分間供給し、膜厚約 2.2 \mu m 、電子濃度 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の GaN から成る高キ

キャリア濃度 n^+ 層 3 を形成した。

【0012】続いて、サファイア基板 1 の温度を 1150°C に保持し、 H_2 を 20 liter/分、 NH_3 を 10 liter/分、TMG を 1.7×10^{-4} モル/分の割合で 20 分間供給し、膜厚約 $1.5 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の GaN から成る低キャリア濃度 n 層 4 を形成した。

【0013】次に、サファイア基板 1 を 1150°C にして、 H_2 を 20 liter/分、 NH_3 を 10 liter/分、TMG を 1.7×10^{-4} モル/分、 CP_2Mg を 8×10^{-8} モル/分の割合で、7 分間供給して、Mg 濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、膜厚 500 Å の Ga 10 N から成る低キャリア濃度 p 層 L_1 を形成した。この状態では、低キャリア濃度 p 層 L_1 は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0014】次に、サファイア基板 1 を 1150°C にして、 H_2 を 20 liter/分、 NH_3 を 10 liter/分、TMG を 1.7×10^{-4} モル/分、 CP_2Mg を 3×10^{-7} モル/分の割合で、7 分間供給して、Mg 濃度 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、膜厚 500 Å の Ga N から成る高キャリア濃度 p^+ 層 H_1 を形成した。この状態では、高キャリア濃度 p^+ 層 H_1 は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0015】続いて、上記の低キャリア濃度 p 層と高キャリア濃度 p^+ 層の形成工程を、さらに、4 周期繰り返して、図 2 に示すように、全体として 5 周期の多重層構造の p 層 5 を得た。

【0016】次に、反射電子線回折装置を用いて、上記の多重層構造の p 層 5 に一様に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧 10KV、試料電流 $1 \mu\text{A}$ 、ビームの移動速度 0.2mm/sec 、ビーム径 $60 \mu\text{m}$ 、真空度 $2.1 \times 10^{-6}\text{Torr}$ である。この電子線の照射により、低キャリア濃度 p 層 $L_1 \sim L_5$ は、ホール濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、抵抗率 $40 \Omega\text{cm}$ の p 伝導型半導体となり、高キャリア濃度 p^+ 層 $H_1 \sim H_5$ は、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、抵抗率 $2 \Omega\text{cm}$ の p 伝導型半導体となった。このようにして、図 2 に示すような多層構造のウエハが得られた。

【0017】以下に述べられる図 3 から図 7 は、ウエハ上の 1 つの素子のみを示す断面図であり、実際は、この素子が連続的に繰り返されたウエハについて、処理が行われ、その後、各素子毎に切断される。

【0018】図 3 に示すように、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 の上に、スパッタリングにより SiO_2 層 1 1 を 2000 Å 40 の厚さに形成した。次に、その SiO_2 層 1 1 上にフォトリソグランド 1 2 を塗布した。そして、フォトリソグラフにより、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 上において、高キャリア濃度 n^+ 層 3 に至るように形成される孔 1 5 に対応する電極形成部位 A とその電極形成部を高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 の電極と絶縁分離する溝 9 を形成する部位 B のフォトリソグランドを除去した。

【0019】次に、図 4 に示すように、フォトリソグランド 1 2 によって覆われていない SiO_2 層 1 1 をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。次に、図 5 に示すように、50

フォトリソグランド 1 2 及び SiO_2 層 1 1 によって覆われていない部位の多重層構造の p 層 5 と、その下の低キャリア濃度 n 層 4、高キャリア濃度 n^+ 層 3 の上面一部を、真空度 0.04Torr 、高周波電力 $0.44\text{W}/\text{cm}^2$ 、 BCl_3 ガスを 10ml/分の割合で供給しドライエッチングした後、Ar でドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度 n^+ 層 3 に対する電極取出しのための孔 1 5 と絶縁分離のための溝 9 が形成された。

【0020】次に、図 6 に示すように、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 上に残っている SiO_2 層 1 1 をフッ化水素酸で除去した。次に、図 7 に示すように、試料の上全面に、Ni 層 1 3 を蒸着により形成した。これにより、孔 1 5 には、高キャリア濃度 n^+ 層 3 に電氣的に接続された Ni 層 1 3 が形成される。そして、その Ni 層 1 3 の上にフォトリソグランド 1 4 を塗布して、フォトリソグラフにより、そのフォトリソグランド 1 4 が高キャリア濃度 n^+ 層 3 及び高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 に対する電極部が残るように、所定形状にパターン形成した。

【0021】次に、図 7 に示すようにそのフォトリソグランド 1 4 をマスクとして下層の Ni 層 1 3 の露出部を硝酸系エッチング液でエッチングした。この時、絶縁分離のための溝 9 に蒸着された Ni 層 1 3 は、完全に除去される。次に、フォトリソグランド 1 4 をアセトンで除去し、高キャリア濃度 n^+ 層 3 の電極 8、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 の電極 7 が残された。その後、上記の如く処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図 1 に示す $p-n$ 構造の窒化ガリウム系発光素子を得た。

【0022】このようにして製造された発光ダイオード 1 0 の発光強度を測定したところ 10mcd であり、この発光輝度は、従来の $p-n$ 接合の GaN 発光ダイオードの発光輝度に比べて 2 倍であった。又、発光寿命は、 10^4 時間であり、従来の $p-n$ 接合の GaN 発光ダイオードの発光寿命に比べて 1.5 倍であった。このような p 層 5 を薄膜の多重層構造としたので、ホールの低キャリア濃度 n 層 4 へのホールの注入量を増加させることができた。

【0023】尚、上記実施例で用いたマグネシウム Mg のドーピングガスは、上述のガスの他、メチルビスシクロペンタジエニルマグネシウム $\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_7)_2$ を用いても良い。

【0024】上記低キャリア濃度 n 層 4 の電子濃度は $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ で膜厚は $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$ が望ましい。電子濃度が $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上となると発光強度が低下するので望ましくなく、 $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。又、膜厚が $2 \mu\text{m}$ 以上となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくなく、膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ 以下となると発光強度が低下するので望ましくない。

【0025】更に、高キャリア濃度 n^+ 層 3 の電子濃度は $1 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ で膜厚は $2 \sim 10 \mu\text{m}$ が望ま

しい。電子濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上となると結晶性が悪化するので望ましくなく、 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。又、膜厚が $10 \mu\text{m}$ 以上となると基板が湾曲するので望ましくなく、膜厚が $2 \mu\text{m}$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。

【0026】又、上記低キャリア濃度 p 層 $L_1 \sim L_5$ のホール濃度は $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ で膜厚は $100 \sim 1000 \text{\AA}$ が望ましい。ホール濃度が $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上と

なると、低キャリア濃度 n 層 4 とのマッチングが悪くなり発光効率が低下するので望ましくなく、ホール濃度が $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 以下となると、直列抵抗が高くなり過ぎるので望ましくない。

【0027】更に、高キャリア濃度 p^+ 層 $H_1 \sim H_5$ のホール濃度は $1 \times 10^{16} \sim 2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ で、膜厚は $100 \sim 1000 \text{\AA}$ が望ましい。ホール濃度が $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上の p^+ 層はできない。 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以下となると、直列抵抗が高くなるので望ましくない。

【0028】第2実施例

図8に示すように発光ダイオード10を構成することもできる。即ち、バッファ層2の上に、順に、薄膜の多重層構造の p 層5、膜厚約 $1.5 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のノンドープ GaN から成る低キャリア濃度 n 層4、膜厚約 $2.2 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープ GaN から成る高キャリア濃度 n^+ 層3が形成されている。この p 層5は、第1実施例と同様であり、低キャリア濃度 p 層と高キャリア濃度 p^+ 層とを1周期として、5周期繰り返して形成されている。

【0029】そして、高キャリア濃度 n^+ 層3に接続するニッケルで形成された電極8と高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 に接続するニッケルで形成された電極7とが形成されている。電極8と電極7とは、高キャリア濃度 n^+ 層3、低キャリア濃度 n 層4、p 層5に形成された溝91により電気的に絶縁分離されている。

【0030】このように、本実施例は、第1実施例と異なり、p 層と n 層との基板1に対する堆積順序を逆にしたものである。製造は第1実施例と同様に行うことができる。

【0031】このように、p 層を n 層に接合する側から低キャリア濃度 p 層と高キャリア濃度 p^+ 層とする2層を1周期として多重周期の構造に形成したので、ホール濃度の最も高い p^+ 層と電子濃度が最も高い n^+ 層との間に電圧を印加することで、電子及びホールが各層で効率良く加速され、pn 接合面を通して反対の伝導型の層に効率良く注入される。この結果、発光輝度が向上した。

【0032】第3実施例

図9において、発光ダイオード10は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1に 500\AA の AlN

のバッファ層2が形成されている。そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 $2.2 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコンドープ GaN から成る高キャリア濃度 n^+ 層3、膜厚約 $1.5 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のノンドープ GaN から成る低キャリア濃度 n 層4、多重層構造の i 層6が形成されている。i 層6は、膜厚約 500\AA 、Mg 濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の低不純物濃度 i 層 i_{L1} と、膜厚約 500\AA 、Mg 濃度 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の高不純物濃度 i 層 i_{H1} とを1周期として5周期繰り返して形成された多重層構造で構成されている。

【0033】そして、その低不純物濃度 i 層 $i_{L1} \sim i_{L5}$ 及び高不純物濃度 $i_{H1} \sim i_{H5}$ の所定領域には、それぞれ、電子線照射により p 伝導型化した、膜厚約 500\AA 、ホール濃度 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の低キャリア濃度 p 層 $L_1 \sim L_5$ 、膜厚約 500\AA 、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の高キャリア濃度 p 層 $H_1 \sim H_5$ が形成されている。このように、多重層構造の i 層6の一部分の位置に多重層構造の p 層50が形成されている。

【0034】又、高不純物濃度 i^+ 層 i_{H5} の上面からは、i 層6、低キャリア濃度 n 層4を貫通して高キャリア濃度 n^+ 層3に至る孔15が形成されている。その孔15を通して高キャリア濃度 n^+ 層3に接合されたニッケルで形成された電極81が高不純物濃度 i^+ 層 i_{H5} 上に形成されている。又、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 の上面には、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 に対するニッケルで形成された電極71が形成されている。高キャリア濃度 n^+ 層3に対する電極81は、p 層50に対して i 層6により絶縁分離されている。

【0035】次に、この構造の発光ダイオード10の製造方法について説明する。製造工程を示す図10から図15は、ウエハにおける1素子のみに関する断面図であり、実際には図に示す素子が繰り返して形成されたウエハに関して次の製造処理が行われる。そして、最後に、ウエハが切断されて各発光素子が形成される。

【0036】第1実施例と同様にして、図10に示すウエハを製造する。次に、図11に示すように、高不純物濃度 i^+ 層 i_{H5} の上に、スパッタリングにより SiO_2 層11を 2000\AA の厚さに形成した。次に、その SiO_2 層11上にフォトレジスト12を塗布した。そして、フォトリソグラフにより、高不純物濃度 i^+ 層 i_{H5} において高キャリア濃度 n^+ 層3に至るように形成される孔15に対応する電極形成部位Aのフォトレジストを除去した。

【0037】次に、図12に示すように、フォトレジスト12によって覆われていない SiO_2 層11をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。次に、図13に示すように、フォトレジスト12及び SiO_2 層11によって覆われていない部位の多重層構造の i 層6とその下の低キャリア濃度 n 層4と高キャリア濃度 n^+ 層3の上面一部を、真空度 0.04Torr 、高周波電力 $0.44 \text{W}/\text{cm}^2$ 、 BCl_3 ガスを $10 \text{ml}/\text{分}$ の割合で供給しドライエッチングした後、Ar でド

10

20

30

40

50

ライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度 n^+ 層 3 に対する電極取出しのための孔 15 が形成された。次に、図 14 に示すように、高不純物濃度 i^+ 層 i_{H5} 上に残っている SiO_2 層 11 をフッ化水素酸で除去した。

【0038】次に、図 15 に示すように、高不純物濃度 i^+ 層 $i_{H1} \sim i_{H5}$ 及び低不純物濃度 i 層 $i_{L1} \sim i_{L5}$ の所定領域にのみ、反射電子線回析装置を用いて電子線を照射して、それぞれ p 伝導型を示す、膜厚約 500 Å、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/cm^3$ の高キャリア濃度 p 層 $H_1 \sim H_5$ 、膜厚約 500 Å、ホール濃度 $1 \times 10^{19}/cm^3$ の低キャリア濃度 p 層 $L_1 \sim L_5$ が形成された。

【0039】電子線の照射条件は、加速電圧 10KV、試料電流 $1 \mu A$ 、ビームの移動速度 0.2mm/sec、ビーム径 $60 \mu m \phi$ 、真空度 2.1×10^{-6} Torr である。この時、高キャリア濃度 p^+ 層 $H_1 \sim H_5$ 及び低キャリア濃度 p 層 $L_1 \sim L_5$ 以外の部分、即ち、電子線の照射されなかった部分は、絶縁体の高不純物濃度 i^+ 層 $i_{H1} \sim i_{H5}$ 及び低不純物濃度 i 層 $i_{L1} \sim i_{L5}$ のままである。従って、高キャリア濃度 p^+ 層 $H_1 \sim H_5$ 及び低キャリア濃度 p 層 $L_1 \sim L_5$ は、縦方向に対しては、低キャリア濃度 n 層 4 に導通するが、横方向には、周囲に対して、高不純物濃度 i^+ 層 $i_{H1} \sim i_{H5}$ 及び低不純物濃度 i 層 $i_{L1} \sim i_{L5}$ により電気的に絶縁分離されている。

【0040】次に、図 16 に示すように、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 と、高不純物濃度 i^+ 層 i_{H5} と、高不純物濃度 i^+ 層 i_{H5} の上面と孔 15 を通って高キャリア濃度 n^+ 層 3 とに、Ni 層 20 が蒸着により形成された。そして、その Ni 層 20 の上にフォトレジスト 21 を塗布して、フォトリソグラフにより、そのフォトレジスト 21 が高キャリア濃度 n^+ 層 3 及び高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 に対する電極部が残るように、所定形状にパターン形成した。次に、そのフォトレジスト 21 をマスクとして下層の Ni 層 20 の露出部を硝酸系エッチング液でエッチングし、フォトレジスト 21 をアセトンで除去した。このようにして、図 9 に示すように、高キャリア濃度 n^+ 層 3 の電極 81、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 の電極 71 を形成した。その後、上述のように形成されたウエハが各素子毎に切断された。

【0041】このようにして製造された発光ダイオード 10 の発光強度を測定したところ、第 1 実施例と同様に、10mcd であり、発光寿命は 10^4 時間であった。

【0042】第 4 実施例

図 1 に示す構造の第 1 実施例の発光ダイオードにおいて、高キャリア濃度 n^+ 層 3、多重層構造の p 層 5 を、それぞれ、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}In_{0.3}N$ とした。高キャリア濃度 n^+ 層 3 は、シリコンを添加して電子濃度 $2 \times 10^{19}/cm^3$ に形成し、低キャリア濃度 n 層 4 は不純物無添加で電子濃度 $1 \times 10^{19}/cm^3$ に形成した。低キャリア濃度 p 層 L_1 はマグネシウム (Mg) を添加して電子線を照射して正孔濃度 $1 \times 10^{19}/cm^3$ に形成し、高キャリア濃度 p 層 H_1 は同じ

くマグネシウム (Mg) を添加して電子線を照射して正孔濃度 $2 \times 10^{17}/cm^3$ に形成した。そして、最上層の高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 に接続するニッケルで形成された電極 7 と高キャリア濃度 n^+ 層 3 に接続するニッケルで形成された電極 8 とを形成した。

【0043】次に、この構造の発光ダイオード 10 も第 1 実施例の発光ダイオードと同様に製造することができる。トリメチルインジウム ($In(CH_3)_3$) が TMG、TMA、シラン、 CP_2Mg ガスに加えて使用された。生成温度、ガス流量は第 1 実施例と同じである。トリメチルインジウムを 1.7×10^{-4} モル/分で供給することを除いて他のガスの流量は第 1 実施例と同一である。

【0044】次に、第 1 実施例と同様に、反射電子線回析装置を用いて、上記の多重層構造の p 層 5 に一様に電子線を照射して p 伝導型半導体を得ることができた。

【0045】次に、第 1 実施例と同様に、高キャリア濃度 p^+ 層 H_5 と高キャリア濃度 n^+ 層 3 に接続するニッケルで形成された電極 7、8 を形成した。

【0046】このようにして製造された発光ダイオード 10 の発光強度を測定したところ 10mcd であり、この発光輝度は、従来の $p-n$ 接合の GaN 発光ダイオードの発光輝度に比べて 2 倍であった。又、発光寿命は、 10^4 時間であり、従来の $p-n$ 接合の GaN 発光ダイオードの発光寿命に比べて 1.5 倍であった。このような p 層 5 を薄膜の多重層構造としたので、ホールの低キャリア濃度 n 層 4 へのホールの注入量を増加させることができた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の具体的な第 1 実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図 2】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 3】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 4】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 5】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 6】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 7】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 8】本発明の具体的な第 2 実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図 9】本発明の具体的な第 3 実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図 10】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 11】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図 12】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

た断面図。

【図13】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図14】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図15】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図16】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【符号の説明】

10…発光ダイオード

1…サファイア基板

2…バッファ層

3…高キャリア濃度 n^+ 層

4…低キャリア濃度 n 層

5、50… p 層（多重層構造の p 層）

6… i 層（多重層構造の i 層）

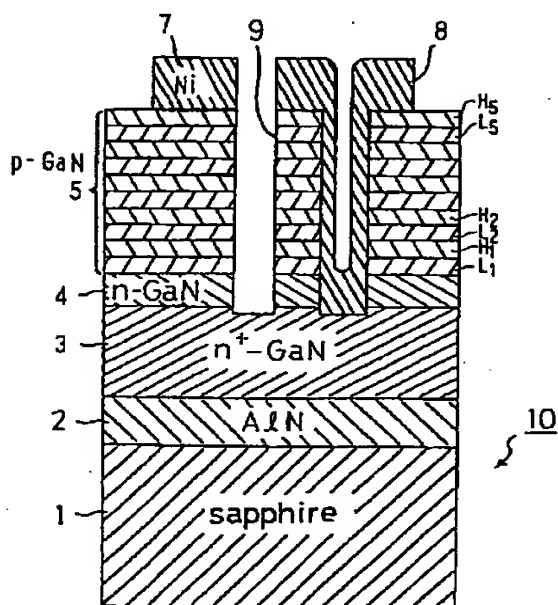
$i_{H1} \sim i_{H5}$ …高不純物濃度 i 層

$i_{L1} \sim i_{L5}$ …低不純物濃度 i 層

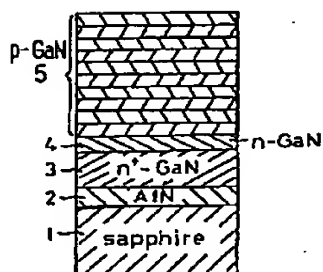
7、8…電極

10 9…溝

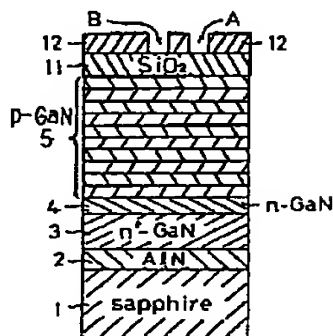
【図1】



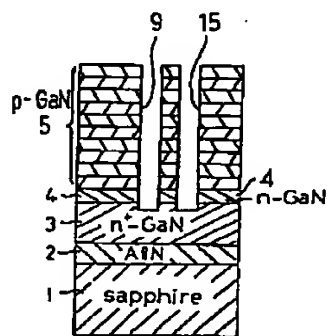
【図2】



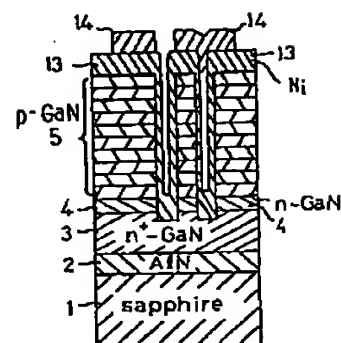
【図3】



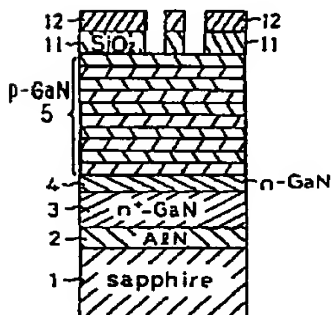
【図6】



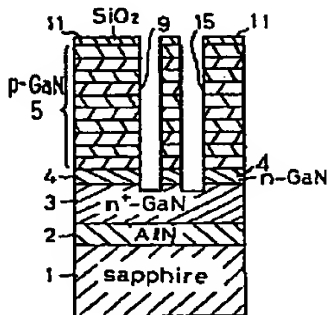
【図7】



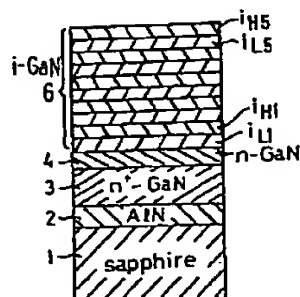
【図4】



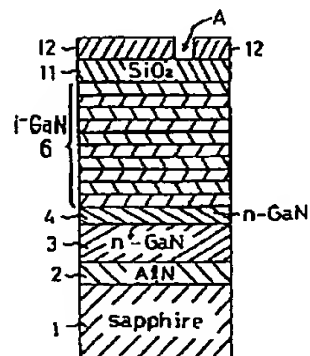
【図5】



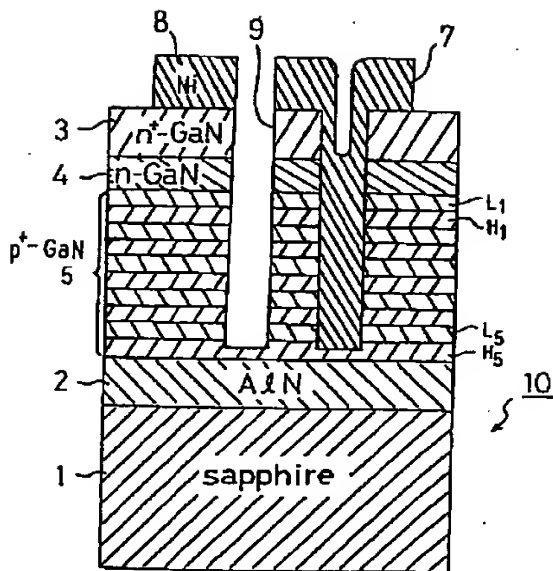
【図10】



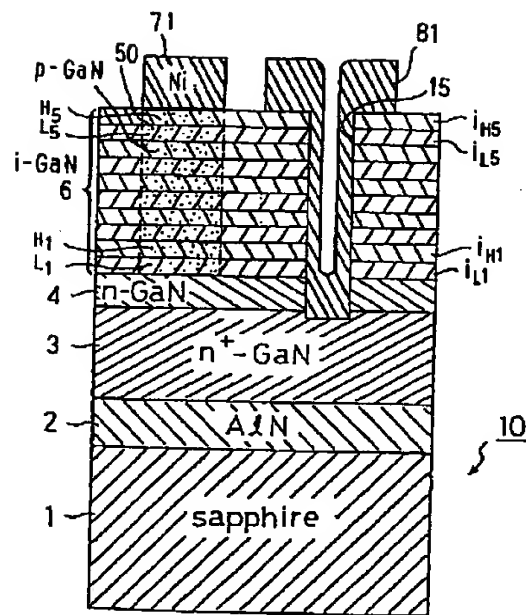
【図11】



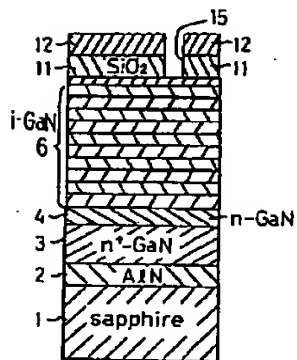
【図8】



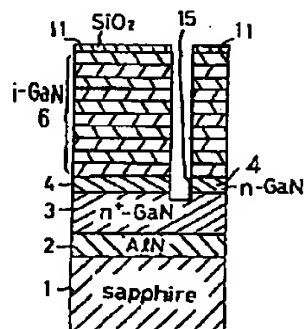
【図9】



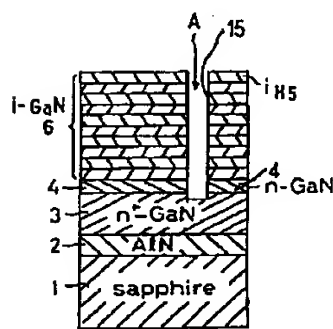
【図12】



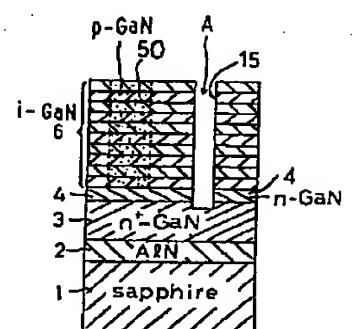
【図13】



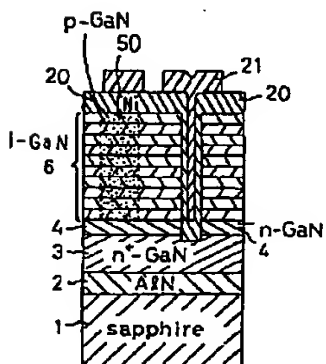
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 梅崎 潤一
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 野村 静代
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内